

BAHAN RADIOAKTIF DI DALAM ENERGY PENDANT

Rindi Genesa Hatika

Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan
Universitas Pasir Pengaraian

ABSTRACT

Humans are exposed to both natural and man-made radiation through consumer products, food, drinking-water and beverages. There is several consumer products containing radioactive materials are such as gas mantle, energy pendant and smoke detector. Radiological safety aspect of consumer products needs to be investigated in ensuring public safety. The objectives of this research are: (i) to determine specific activity in energy pendant, (ii) to estimate exposure dose arising from energy pendant and (iii) to propose radiation protection program on consumer products containing radioactive materials. Exposure dose of the samples were determined using survey meter which were then measured for 12 hours using gamma-ray spectrometer. Specific activity (Th-232) of energy pendant 10.61 ± 0.39 Bq/g. In addition, specific activity (U-238) of energy pendant 3.58 ± 0.07 Bq/g. Specific activity (K-40) ranges of energy pendant were 1.17 ± 0.18 Bq/g. Exposure dose at the surface of energy pendant were $0.86 \mu\text{Sv/h}$. Therefore, radiological effect may be felt by the consumers since the majority of samples investigated, energy pendant showed beyond safety threshold levels, which included the U-238 and Th-232 specific activity of 1 Bq/g and annual dose of 1 mSv/yr ($0.5 \mu\text{Sv/h}$).

Keywords: Radiological Safety, Radioactive Material, Energy Pendant

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di dalam hidup ini, tanpa kita sadari kita telah terkena radiasi baik secara natural ataupun buatan manusia, yaitu melalui udara yang kita hirup, air yang kita minum, makanan yang kita makan atau dari produk yang kita beli dan gunakan.

Produk yang dimaksud di sini adalah produk yang berasal dari pabrik atau perkakas atau apa pun, di mana bahan radioaktif secara sengaja ataupun tidak sengaja telah dimasukkan dan boleh digunakan oleh masyarakat luas tanpa adanya pengawas dan kawalan khas (Shaw et al. 2007). Kegiatan menggabungkan bahan radioaktif dalam produk telah dilakukan selama bertahun-tahun seperti penggunaan

uranium dalam menghasilkan kaca berwarna (lebih daripada 150 tahun yang lalu). Pada awal abad ke-20 kegunaan *radiolumi-nescent* telah ditemukan dan cat radioluminous banyak yang digabungkan dalam produk konsumen.

Dengan berkembangnya teknologi, penggunaan bahan radioaktif dalam produk konsumen meningkat, beberapa dari produk ini langsung memanfaatkan sifat sinaran pengion dari radionuklida yang digunakan seperti Am-241 dalam detektor asap ionisasi ruang (ICSD), dan ada juga yang menggunakan kimia atau fisika daripada bahan radionuklida yang digunakan misalnya untuk mentol gasolin dengan menggabungkan torium (Health Physics Society 2010).

Untuk mengawasi produk konsumen ini, telah berkembanglah beberapa pertubuhan antarbangsa yang mengeluarkan arahan dan bimbingan serta mengawasi penggunaan bahan radioaktif pada produk konsumen ini dengan tujuan memastikan dedahan yang diterima oleh masyarakat dari pada penggunaan dan penghancuran produk ini adalah serendah yang mungkin. Di Malaysia, pertumbuhan yang mengawasi penggunaan bahan radioaktif dikenal dengan nama Lembaga Pelesenan Tenaga Atom atau yang lebih dikenal dengan AELB, sedangkan di Indonesia sendiri pertubuhan yang mengawasi penggunaan bahan radioaktif dikenal dengan nama Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).

Oleh karena itu, kajian terbatasap produk konsumen yang mengandung bahan radioaktif perlu dilakukan, sehingga dengan diadakannya penelitian ini dapat diketahui produk konsumen yang mengandungi bahan radioaktif di Malaysia sehingga dapat memberikan pengetahuan kepada masyarakat tentang produk yang mereka gunakan dan dapat mengetahui apakah produk tersebut dikontrol oleh badan yang berkuasa.

Seterusnya aspek keselamatan radiologi produk konsumen ini bisa diketahui dan dapat memberikan gambaran sebenarnya aspek keselamatan radiologi terutamanya bagi pengetahuan orang awam mengenai produk konsumen yang mereka gunakan.

B. Tujuan Penelitian

1. Menentukan aktivitas spesi-fik bahan radioaktif dalam *energy pendant*.
2. Menentukan dosis paparan yang berasal dari *energy pendant*.

Mencadangkan program perlindungan radiasi terbatasnya produk

konsumen yang mengandung bahan radioaktif.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Produk Konsumen

Produk konsumen yang dimaksud di sini adalah produk yang berasal dari pabrik atau perkakas atau apa pun, di mana bahan radioaktif secara sengaja ataupun tidak sengaja telah dimasukkan dan boleh digunakan oleh masyarakat luas tanpa adanya pengawasan dan kawalan khas (Shaw et al. 2007). Produk konsumen ini terbagi kepada 5 kategori menurut UNSCEAR (1982) iaitu produk radioluminous; peralatan elektronik dan listrik; perangkat anti statis; detektor asap; keramik, barang kaca, aloi dan lainnya yang mengandung uranium ataupun thorium.

Radiasi yang dihasilkan oleh produk konsumen ini mengandung bahan radionuklidaa buatan ataupun bahan radionuklidaa natural yang sengaja ditambahkan sehingga keradioaktifannya sengaja diaktifkan. Berikut ini merupakan senarai produk konsumen yang mengandung bahan radioaktif:

a) Produk Radioluminous

Radionuklidaa telah digunakan dalam industri cat bercahaya (radioluminous paint) selama bertahun-tahun. Yang mana sinaran yang dipancarkan akan ditukar kepada cahaya oleh scintillator (biasanya zink sulfida yang mengandungi sedikit tembaga atau perak). Pada sebagian besar abad kedua puluh, radium-226 merupakan radionuklida yang paling banyak digunakan. Akan tetapi beberapa tahun kebelakangan ini, atas berbagai sebab, ianya telah digantikan oleh tritium dan prometium-147. penggunaan cat bercahaya ini dianggap berguna kerana memiliki kemam-

puan untuk memberikan cahaya di dalam gelap (UNSCEAR 1982).

Baru-baru ini gas sumber cahaya tritium (GTLS) juga telah digunakan kedalam produk konsumen untuk menyediakan sumber pencahayaan. Dalam GTLS, gas tritium terkandung didalam tabung kaca berlubang, yang bagian dalamnya dilapisi oleh fosfor. Panjang gelombang yang dihasilkannya bergantung kepada fosfor, yang memungkinkan GTLS untuk menghasilkan berbagai cahaya. Apabila dibandingkan dengan produk yang menggunakan cat radiolumunious, aktivitas gas tritium yang lebih besar diperlukan untuk mencapai tahap kecerahan yang sama. Jalur potensi paparan daripada produk radiolumunious adalah boleh berlaku-nya paparan luaran semasa penggunaan, pemeliharaan biasa dan pembersihan; paparan dalaman dapat terjadi apabila terjadi penghirupan dan penyerapan kulit pada tritium yang keluar dari produk; terhimpun dan tertelan bahan radioaktif semasa penghancuran (Shaw et al. 2007).

Beberapa contoh produk radiolumunious adalah seperti jam tangan, kompas, pelampung pancing dan penanda (*sign*). Jam tangan modern terkadang menggunakan tritium atau prometium-147 sebagai satu sumber cahaya. Beberapa jam tangan yang lebih tua biasanya menggunakan radium-226 sebagai sumber cahaya (HPS 2010).

b) Peralatan Elektronik dan Listrik

Beberapa komponen elektronik seperti pengatur tegangan, pelindung lonjakan sementara, irradiator jurang percikan bunga api dan lampu indikator mengandung bahan radio-aktif dalam jumlah yang sedikit, yang biasanya menyebabkan ionisasi dan meningkatkan aliran sesaat. Dengan permulaan lampu pendafluor, terdapat

berbagai radionuklida yang digunakan, tetapi dengan aktivitas yang sangat rendah. Alat-alat ini boleh didapati dengan mudah dan mungkin berada di dalam banyak produk listrik yang digunakan oleh masyarakat (Shaw et al. 2007).

c) Perangkat Anti Statis

Eliminator statis yang berisi bahan radioaktif digunakan dalam industri untuk mengurangi penghasilan muatan listrik pada bahan tertentu. Radiasi mengionisasi udara yang berada di sekeliling objek yang dikenai dan dengan itu memungkinkan muatan dinetralkan (UNSCEAR 1982).

Eliminator statis menggabungkan pemancar partikel alfa (biasanya polonium-210 atau amerisium-241). Dapat digunakan untuk membersihkan debu dari negatif fotografi, kaset, kamera dan lensa kaca mata. Radionuklida ini adalah dalam bentuk mikrosfera terikat ke dalam matriks sumber foil logam. Produk-produk ini tidak digunakan oleh masyarakat, akan tetapi tersedia dan dapat digunakan oleh juru foto amatir dan kolektor rekor. Paparan radiasi eksternal dari perangkat ini adalah minimum, tetapi ada potensi untuk pengungkapan internal yang disebabkan oleh pecahnya, penyalahgunaan dan penghancuran perangkat (Shaw et al. 2007).

d) Detektor Asap

Ada dua jenis detektor asap yaitu detektor asap optik (OSD) dan detektor asap ionisasi ruang (ICSD). Yang mana detektor asap ionisasi ruang (ICSD) diciptakan pada awal tahun 1940-an di Swiss dan diperkenalkan ke Amerika Serikat pada tahun 1951. Komponen sensitif dari detektor asap ICSD adalah ruang pengion. Sumber radioaktif dalam ruang mengeluarkan radiasi yang

mengionisasi udara di dalam ruang dan menjadikannya konduktif (Oak Ridge Associated Universities, 1999).

Pada ICSD modern, radionuklida yang digunakan adalah amerisium-241 hampir secara eksklusif, yang menimbulkan tingkat dosis eksternal yang sangat rendah. Beberapa ICSD lama biasanya menggabungkan krypton-85, radium-226, plutonium-238 atau plutonium-239 dengan harga dosis eksternal yang signifikan lebih tinggi (Shaw et al. 2007).

Orang yang memproduksi dan menangani ^{241}Am dalam detektor asap ataupun perangkat lain memiliki kemungkinan terpapar kepada tingkat yang lebih tinggi. Dikarenakan, partikel alfa tidak menembus kulit dan sinar gama yang dibebaskan dari sumber amerisium rendah sehingga tidak dianggap membahayakan kesehatan. Namun itu adalah bahaya ketika amerisium ini terserap, memasukai tubuh dan menggumpal di tulang dalam waktu yang panjang. Detektor asap ICSD adalah aman apabila di pasang, namun saat itu telah rusak atau tidak lagi digunakan, ia harus dikembalikan kepada pemasok untuk penghancuran (U.S. Departement of Health and Human Services 2004).

e) Penangkal Petir

Pada masa lalu, beberapa produsen telah melampirkan sumber radioaktif ke ujung batang konduktor petir sebagai salah satu cara untuk meningkatkan jaringan menarik oleh ionisasi udara sekeliling. Amerisium-241 dan radium-226 merupakan radionuklida yang biasa digunakan untuk tujuan ini. Namun, efektivitas perangkat ini tidak pernah dibuktikan. Alat ini tidak lagi tersedia secara luas dan tidak pernah umumnya tersedia untuk umum. Ada potensi untuk paparan eksternal saat penggunaan biasa dan paparan internal dari penghancuran yang terkendali,

kebakaran, rusak atau pecahnya dan penyalahgunaan perangkat (Shaw et al. 2007).

f) Mentol gasolin (*incandescent gas lantern mantles*)

Mentol gasolin sering digunakan dalam lentera lampu gas perkemahan. Prinsip mentol pijar telah ditemui oleh ahli kimia Austria, Carl Auer Von Welsbach pada tahun 1885. Beliau menggabungkan hos kapas dengan beberapa garam yang menyebabkan pijaran apabila mentol diletakkan didalam bekas lampu dan dipanaskan oleh api gas. Beliau memperbaiki komposisi kandungan garam ini dalam tahun-tahun berikut (Auer von Welsbach 1886, 1887, 1891) dan mendapati campuran 99% ThO_2 dan 1% CeO_2 yang paling menjanjikan dan memberikan cahaya terang dan kobar. Dampak penggunaan senyawa telah ditambahkan untuk meningkatkan stabilitas mekanik lampu. Pada dasarnya, komposisi ini telah digunakan sampai saat ini. Karena Th merupakan logam berat radioaktif, penggunaan campuran alternatif (bukan radioaktif) menjadi lebih populer (Furuta et al, 2000; Shaw et al, 2007).

Mentol yang mengandung pijaran akan menghasilkan torium ketika lampu dipanaskan oleh api. Nitrat uranium dicampurkan kedalam jala fabril saat pembuatan lampu. Ketika diletakkan di lampu dan dibakar, nitrat thorium berubah menjadi oksida torium, yang kemudian menghasilkan pijaran. Meskipun penggunaan torium awalnya hanya pada lampu, keberadaan torium dan keturunannya meningkat sepanjang waktu dan dapat batasir dalam jumlah yang besar. Jalur potensi paparan dari lampu ini yaitu paparan eksternal saat pengendalian lampu; paparan internal yang disebabkan oleh menghirup dan

tertelan radionuklida sisa pembakaran dan penghancuran; paparan internal disebabkan penyalahgunaan dan toron emanasi dari lampu gas (Shaw et al. 2007).

g) *Energy Pendant*

Berdasarkan wawancara dengan salah seorang pegawai AELB (*Atomic Energy Licency Board*) pada tahun 2011, Faeizal menyatakan bahwa terdapat sebuah produk konsumen yang mengandung uranium dan torium melebihi batas yang telah ditetapkan. Produk tersebut ialah *Energy pendant*. Sebuah produk keluaran korea yang diyakini dapat memberikan faedah seperti mening-katkan peredaran untuk lebih banyak energi, keseimbangan yang lebih baik dan meningkatkan konsentrasi.

Energy pendant ini memiliki sertifikat resmi yang diuji daripada badan-badan terkemuka termasuk Perhimpunan Infarmerah Jauh Korea (KFIA/KIFA) dan Universiti Anjau, Korea. Ianya diyakini menghasilkan radiasi melebihi 92% FIR dan terdiri dari 99.999% germanium.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 3.1. Yang mana, sampel yang dipilih merupakan sampel yang beredar di Malaysia berdasarkan pencarian melalui wawancara dengan pegawai AELB serta melalui internet.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan

- i. *Energy Pendant*
- ii. Survey Meter
- iii. Sistem spektrometri sinar gama

B. Kaedah

Kaedah daripada penelitian ini adalah dengan melakukan beberapa

percobaan terbatasap sampel seperti menentukan dosis paparan dan aktivitas spesifik radionuklida.

a) Menentukan Dos Paparan

Batas dosis bagi masyarakat di Malaysia adalah 1 mSv/tahun atau 0.5 μ Sv/jam (Akta Perlesenan Tenaga Atom 1984 tepatnya pada Peraturan-Peraturan Pelesenan Tenaga Atom (Perlindungan Sinaran Keselamatan Asas 2010) P.U(A) 46). Dalam menentukan dosis paparan kepada sampel produk konsumen, alat yang akan digunakan adalah *survey meter*. Bacaan diambil pada permukaan sampel, pada jarak 30 cm dan pada jarak 1 meter dari sampel.

b) Menentukan Aktivitas Spesifik Radionuklida

Setelah mengetahui dosis paparan yang dikeluarkan oleh sampel, langkah selanjutnya ialah menentukan aktivitas spesifik radionuklida yang terdapat pada sampel tersebut. Yang mana setiap puncak tenaga yang dikesan ditentukan jenis radionuklidanya dengan merujuk kepada table radionuklida IAEA-TECDOC_564.

Spektometri sinar gama digunakan untuk menentukan jenis radionuklida pada sampel produk konsumen. Yang mana sampel akan ditimbang beratnya dan diletakkan kedalam bekas dan dihitug selama 12 jam (Poljanc et al, 2007).

Penentuan jenis radionuklida ini dilakukan dengan menggunakan kaedah kurva efisiensi. Yang mana ianya memerlukan graf efisiensi (%) melawan tenaga (keV) bagi kesemua unsur yang terdapat dalam standar iaitu Sijil Standar (Multinuklid) 1280-56. Aktivitas standar bagi setiap radionuklida ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut,

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (3.1)$$

Di mana;

A = aktivitas akhir standar (Bq)

A₀ = aktivitas awal standar (Bq)

t = tempoh masa (hari ataupun tahun)

λ = konstanta pereputan

$$= \ln 2/t_{1/2}$$

t_{1/2} = separuh hayat (hari ataupun tahun)

Kemudian nilai efisiensi ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut,

$$E(\%) = \frac{\text{cps}}{A} \times 100 \quad (3.2)$$

Dimana ;

E = nilai efisiensi(%)

cps = bilangan per saat

A = aktivitas akhir standar (Bq)

Setelah mendapati nilai efisiensi dari semua radionuklida standar (Jadwal 3.2) maka graf efisiensi melawan tenaga dilukiskan menggu-

nakan Microsoft Excel (Diagram 3.2). Merujuk pada graf tersebut, didapati persamaan berikut

$$Y = 294.78 X^{-0.875} \quad (3.3)$$

Yang mana, efisiensi unsur dalam sampel boleh didapati dengan menggantikan "X" pada persamaan tersebut dengan puncak tenaga masing-masing unsur. Untuk menentukan keradioaktifan bagi unsur tersebut, persamaan yang digunakan adalah

$$A_s = \frac{\text{cps}}{E \times \gamma \times M} \quad (3.4)$$

Dimana;

A_s = Aktivitas spesifik unsur dalam sampel (Bq/g)

M_s = jisim sampel (g)

E = nilai efisiensi

γ = kelimpahan gama

Tabel 3.2 Nilai Efisiensi Radionuklida dalam Standar

Nuklid	Puncak tenaga (KeV)	Ao (Bq)	t1/2 (tahun)	t1/2 (hari)	λ	t	A (Bq)	Cps	Efisiensi (%)
Am-241	60	3188.71	432.17		0.001604	3.849	3169.09	73.626	2.32
Cd-109	88	31835.26		462.6	0.001498	1404.95	3880.185	9.132	0.24
Co-57	122	1215.98		271.79	0.00255	1404.95	33.81879	1.515	4.48
Te-123m	159	1591.58		119.7	0.005789	1404.95	0.466994		
Cr-51	320	39817.2		27.706	0.025013	1404.95	2.18E-11		
Sn-113	392	6031.79		115.09	0.006021	1404.95	1.277709		
Sr-85	514	7726.61		64.849	0.010686	1404.95	0.002331		
Cs-137	662	5139.97	30.17		0.02297	3.849	4705.05	44.124	0.94
Y-88	898	11985.86		106.63	0.006499	1404.95	1.297656		
Co-60	1173	6357.43	5.272		0.131449	3.849	3833.11	24.005	0.63
Co-60	1333	6357.43	5.272		0.131449	3.849	3833.11	21.159	0.55
Y-88	1836	11985.86		106.63	0.006499	1404.95	1.297656		

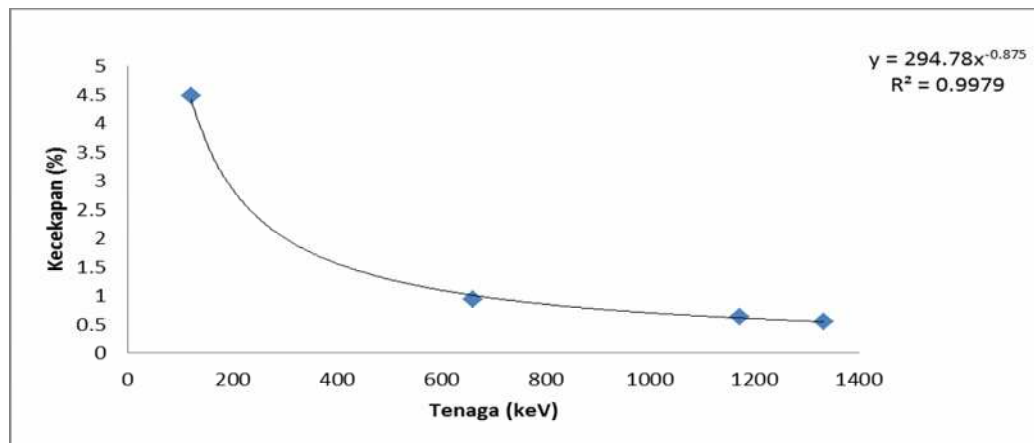


Diagram 3.2 Graf Efisiensi (%) Melawan Tenaga (keV)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Dosis Paparan pada Sampel

Analisis dosis paparan bagi kesemua jenis sampel dilakukan dengan menggunakan survai meter. Bacaan yang diberikan adalah seperti Jadwal 4.1. Yang mana daripada hasil yang didapati menunjukkan bahwa bacaan yang diberikan oleh *energy pendant* adalah $0.86 \mu\text{Sv/jam}$ yang artinya itu melebihi dosis batas yang

ditetapkan bagi orang awam iaitu 1 mSv/tahun ($0.5 \mu\text{Sv/jam}$).

Dari bacaan yang didapati menunjukkan bahawa produk konsumen tersebut harus diberikan perhatian oleh pihak berkuasa, sama ada dilesenkan ataupun dilarang penggunaannya kerana ianya telah melebihi batas dos sinaran yang telah ditetapkan bagi orang awam yaitu 1 mSv/tahun ($0.5 \mu\text{Sv/jam}$) seperti yang terkandung dalam Akta 304 (1984).

Tabel 4.1 Dosis Paparan Sampel pada Permukaan dan Jarak 1 Meter dari Sampel

Sampel	Dos ($\mu\text{Sv/jam}$)		
	Permukaan	Jarak 30 cm	Jarak 1 meter
<i>Energy pendant</i>	0.86	0.01	0.00

B. Analisis Aktivitas Spesifik Radionuklida Dalam Sampel

Dalam melakukan analisis aktivitas spesifik radionuklida pada kesemua sampel terlebih dahulu

dilakukan pengambilan bacaan latar belakang bagi spektrometri sinar gama. Bacaan yang didapati seperti yang terkandung dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Bacaan Latar Belakang Spektrometri Sinar Gama

Radionuklida	Siri pereputan	Puncak tenaga (keV)	Cps
Ra-226	U-238	185.94	0.007
Pb-212	Th-232	238.57	0.004
Pb-214	U-238	352.01	0.003
Tl-208	Th-232	511.26	0.010
Tl-208	Th-232	583.72	0.002
Cs-137	Non-series	662.31	0.007
K-40	Non-series	1461.81	0.006

C. Analisis Aktivitas Spesifik Radionuklida Dalam Sampel *Energy Pendant*

Analisis terbatasap sampel *energy pendant* ditunjukkan oleh Jadwal 4.4 dan juga ditunjukkan oleh Diagram 4.2. Berdasarkan kepada jadwal dan diagram tersebut dapat diketahui bahawa dalam sampel *energy pendant* terdapat radionuklida dengan siri pereputan Th-232, U-238, Ra-226 dan K-40.

Adapun bacaan yang diberikan bagi radionuklida dari siri pereputan Th-232 adalah Ac-228 (338.32 keV, 11.25%) dengan nilai 10.61 ± 0.39 Bq/g, Ac-228 (463.01 keV, 4.44%) dengan nilai 9.60 ± 0.23 Bq/g, Ac-228 (911.21 keV, 26.6%) 9.00 ± 0.14 Bq/g, Ac-228 (968.97 keV, 16.17%) dengan nilai 8.42 ± 0.09 Bq/g, Ac-228 (794.95 keV, 4.34%) dengan nilai 8.29 ± 0.32 Bq/g, Ac-228 (964.77 keV, 5.11%) dengan nilai 6.74 ± 0.22 Bq/g, Pb-212 (238.63 keV, 53.65%) dengan nilai 6.30 ± 1.04 Bq/g, Bi-212 (727.25 keV, 11.80%) dengan nilai 5.63 ± 0.21 Bq/g, Tl-208 (860.56 keV, 12.42%) dengan nilai 3.33 ± 0.20 Bq/g, Tl-208 (510.77 keV, 22.61%) dengan nilai 3.24 ± 0.07 Bq/g

dan Tl-208 (583.72 keV, 84.48%) dengan nilai 3.15 ± 0.06 Bq/g.

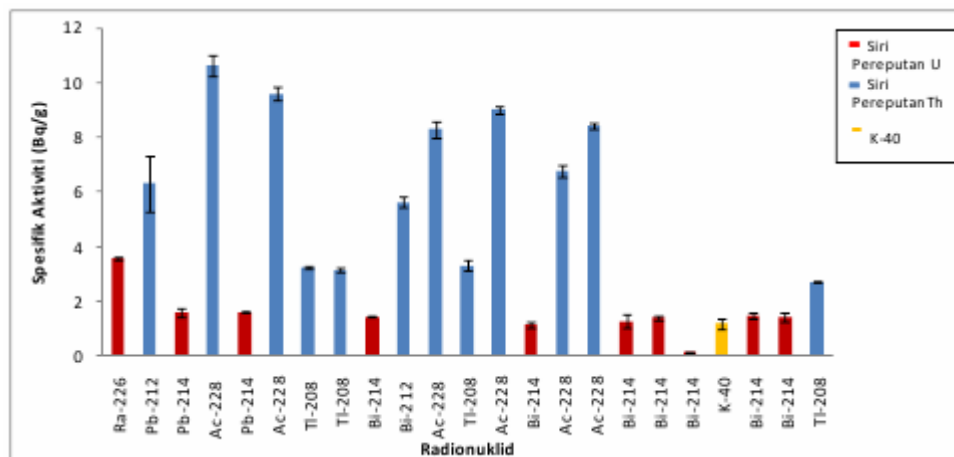
Nilai aktivitas spesifik radionuklida dari siri pereputan U-238 iaitu Ra-226 (186.1 keV, 3.50%) 3.58 ± 0.07 Bq/g, Tl-208 (2614.53 keV, 99.16%) dengan nilai 2.71 ± 0.02 Bq/g, Pb-214 (351.87 keV, 37.1%) dengan nilai 1.59 ± 0.02 Bq/g, Pb-214 (295.09 keV, 19.2%) dengan nilai 1.58 ± 0.14 Bq/g, Bi-214 (1764.49 keV, 15.9%) dengan nilai 1.46 ± 0.10 Bq/g, Bi-214 (609.31 keV, 46.1%) dengan nilai 1.43 ± 0.03 Bq/g, Bi-214 (2204.09 keV, 4.99%) dengan nilai 1.43 ± 0.15 Bq/g, Bi-214 (1238.11 keV, 5.92%) dengan nilai 1.41 ± 0.08 Bq/g, Bi-214 (1120.27 keV, 15.00%) dengan nilai 1.27 ± 0.25 Bq/g, Bi-214 (934.04 keV, 3.16%) dengan nilai 1.13 ± 0.12 Bq/g dan Bi-214 (1377.66 keV, 4.02%) dengan nilai 0.13 ± 0.02 Bq/g. Sedangkan bagi radionuklida K-40 (1460.83 keV, 10.67%) nilai aktivitas spesifik radionuklidanya adalah 1.17 ± 0.18 Bq/g.

Nilai aktivitas spesifik radionuklida yang didapati pada sampel ini juga melebihi batas yang telah ditetapkan bagi Th-232 dan U-238, batas yang ditetapkan adalah 1 Bq/g.

Tabel 4.4 Data aktivitas spesifik radionuklida pada sampel *energy pendant*

Radio nuklida	Siri pereputan	Puncak tenaga (keV)	Kelimpahan γ (%)	Efisiensi (%)	Aktivitas spesifik radionuklida (Bq/g)
Ra-226	U-238	186.10	3.50	3.04	3.58 ± 0.07
Pb-212	Th-232	238.63	53.65	2.45	6.30 ± 1.04
Pb-214	U-238	295.09	19.20	2.03	1.58 ± 0.14
Ac-228	Th-232	338.32	11.25	1.80	10.61 ± 0.39
Pb-214	U-238	351.87	37.10	1.74	1.59 ± 0.02
Ac-228	Th-232	463.01	4.44	1.37	9.60 ± 0.23
Tl-208	Th-232	510.77	22.61	1.26	3.24 ± 0.07
Tl-208	Th-232	583.72	84.48	1.12	3.15 ± 0.06
Bi-214	U-238	609.31	46.10	1.08	1.43 ± 0.03
Bi-212	Th-232	727.25	11.80	0.92	5.63 ± 0.21
Ac-228	Th-232	794.95	4.34	0.85	8.29 ± 0.32
Tl-208	Th-232	860.56	12.42	0.80	3.33 ± 0.20
Ac-228	Th-232	911.21	26.6	0.76	9.00 ± 0.14

Bi-214	U-238	934.04	3.16	0.74	1.13 ± 0.12
Ac-228	Th-232	964.77	5.11	0.72	6.74 ± 0.22
Ac-228	Th-232	968.97	16.17	0.72	8.42 ± 0.09
Bi-214	U-238	1120.27	15.00	0.63	1.27 ± 0.25
Bi-214	U-238	1238.11	5.92	0.58	1.41 ± 0.08
Bi-214	U-238	1377.66	4.02	0.53	0.13 ± 0.02
K-40	Non-series	1460.83	10.67	0.50	1.17 ± 0.18
Bi-214	U-238	1764.49	15.90	0.43	1.46 ± 0.10
Bi-214	U-238	2204.09	4.99	0.35	1.43 ± 0.15
Tl-208	Th-232	2614.53	99.16	0.30	2.71 ± 0.02



D. Cadangan Program Perlindungan Sinaran Bagi Produk Konsumen

Berdasarkan kepada hasil kajian yang telah dilakukan maka didapati beberapa cadangan program perlindungan sinaran bagi produk konsumen yang mengandungi bahan radioaktif. Yang mana, bagi sampel *energy pendant* perlu dilakukan beberapa langkah keselamatan iaitu dilesenkan ataupun dilarang penggunaannya. Dilesenkan bermakna bahwa kepada para konsumen yang hendak menggunakan salah satu daripada produk konsumen tersebut hendaklah melesenkannya terlebih dahulu dan apabila tidak lagi digunakan boleh dikembalikan lagi kepada Lembaga Perlesenan Tenaga Atom untuk di lupuskan atau suatu agensi penghancuran sisa radioaktif yang diiktiraf oleh Lembaga Perlesenan Tenaga Atom. Dilarang penggunaannya bermaksud apabila produk

tersebut lebih banyak mendatangkan mudarat daripada kebaikan maka penggunaan produk tersebut haruslah di larang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kajian ini telah berjaya menentukan produk konsumen yang mengandungi bahan radioaktif iaitu *energy pendant*. Aktivitas spesifik Th-232 bagi *energy pendant*, masing adalah 10.61 ± 0.39 Bq/g. Manakala aktivitas spesifik bagi U-238 dalam sampel *energy pendant* adalah 3.58 ± 0.07 Bq/g. Julat aktivitas spesifik bagi K-40 dalam sampel *energy pendant* adalah 1.17 ± 0.18 Bq/g. Apabila dibandingkan dengan batas yang telah di tetapkan oleh IAEA, nilainya juga melebihi batas tersebut yang mana batas yang telah ditetapkan bagi aktivitas spesifik U-238 dan Th-232 adalah 1 Bq/g.

Bacaan dos pada permukaan bagi *energy pendant* adalah 0.86 $\mu\text{Sv/jam}$. Ini menunjukkan bahwa bacaan dos pada *energy pendant* adalah yang tinggi dan melebihi batas dos yang telah ditetapkan bagi orang awam yaitu 1 mSv/tahun (0.5 $\mu\text{Sv/jam}$).

Bagi kadar risiko kanker atau kebarangkalian seseorang menghidap kanker apabila menggunakan salah satu daripada sampel sepanjang hayatnya iaitu *energy pendant* adalah 0.012.

Oleh itu didapati bahawa sampel *energy pendant* mempunyai bacaan yang melebihi batas yang telah ditetapkan sehingga memungkinkan memberikan kesan radiologi kepada konsumen. Apabila dilihat dari segi keselamatan konsumen, *energy pendant* merupakan produk konsumen yang paling memberikan efek. Ini dikarenakan ianya digantung dileher konsumen dan bersentuhan langsung dengan kulit.

Langkah keselamatan perlindungan sinaran yang dicadangkan adalah bagi sampel *energy pendant* perlu dilakukan beberapa langkah keselamatan iaitu dilesenkan ataupun dilarang penggunaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Furuta, E., Yoshizawa, Y. Aburai, T. 2000. **Comparisons Between Radioactive And Non-Radioactive Gas Lantern Mantles**. *J RadiolProt* 2000.
- Health Physics Society (HPS) Benzo[a]Pyrene: **Use of Excess Lifetime Cancer Risk Estimates**, February 2010. Health Physics Society Fact Sheet
- Malaysia. 1984. *Akta Perselesan Tenaga Atom*. (Akta 304)
- Malaysia. 1989. *Perintah Perlesenan Tenaga Atom (Pengecualian)* (Alat Pengesan Asap).P.U. (A) 422.
- Malaysia. 1990. *Perintah Perlesenan Tenaga Atom (Pengecualian) (Penangkap Kilat)*. P.U. (A) 12.
- Malaysia. 2002. *Perintah Perlesenan Tenaga Atom (Pengecualian) (Bahan Radioaktif Keaktifan Rendah)*. P.U. (A) 182
- Malaysia. 2010. *Peraturan-Peraturan Pelesenan Tenaga Atom (Perlindungan Radiasi Keselamatan Asas)*. P.U. (A) 46.
- Oak Ridge Associated Universities. Radioactive Consumer Products. ORAU Health Physics Historical Instrumentation Museum Collection (www.ornl.gov/ptp/collection/consumer%20product/consumer.htm) (20 Oktober 2011).
- Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Kentuan Keselamatan Kerja terhadap Radiasi.
- Poljanc, Karin., Stenhauser, Georg., H. S. Johannes., Butctela, Karl. & Bichler, Max. 2007. Beyond low-level activity: On a “non-radioactive” gas mantle. *Science of the Total Environment* 374 (2007).
- Shaw, J., Dunderdale, J &Paynte, R.A. 2007. *A Review of Consumer Products Containing Radioactive Substances in the European Union. Radiation Protection 146*. European Commision.
- UNSCEAR.1982. *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects*. New York: United Nation
- U.S. Department of Health and Human Services. 2004. *Toxylogical Profile for Americium*. Atlanta: Georgia.